

Til

Fredericia Kommune

Dokumenttype

Rapport

Dato

Marts, 2016

KYSTRENOVERING AF STRÆKNING VED ØSTERSTRAND

SKITSEPROJEKT

Revision

Dato **11-03-2016**

Udarbejdet af **JQHN**

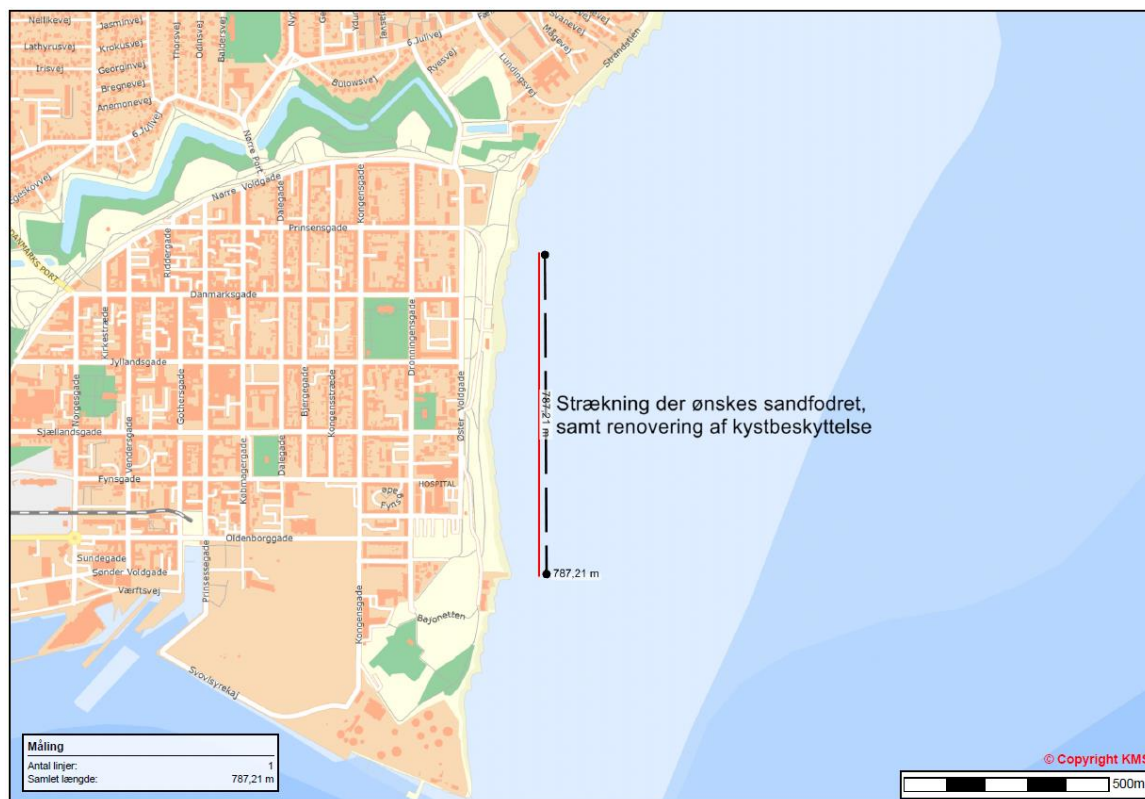
Kontrolleret af **JAK**

Godkendt af **JAK**

1.	INDLEDNING	1
2.	OPSUMMERING	2
3.	DEN HISTORISKE KYSTMORFOLOGISKE UDVIKLING	3
4.	HYDROGRAFI, BUNDSEDIMENTER, VANDSTAND OG BØLGEFORHOLD	5
4.1	Dybdeforhold	5
4.2	Bundsedimenter	6
4.3	Vind	7
4.4	Bølgeforhold	8
4.5	Stormflod og højvande	9
4.6	Strømforhold	10
5.	VURDERING AF SEDIMENTTRANSPORT	10
6.	LØSNINGSFORSLAG TIL RENOVERING AF HØFTER	11
6.1	Anbefalet placering og længde af høfder	11
6.2	Sandfodring	12
6.3	Konstruktionsforslag og prisoverslag for høfdeudførelse	14
6.3.1	Primært konstruktionsforslag - Stenfyldt pælehøfde	15
6.3.2	Alternativt konstruktionsforslag - Stenkastning	15
6.4	Strømforhold omkring høfderne	16
7.	PRISOVERSLAG	16
7.1	Enhedspriser	16
7.1.1	Prisoverslag for fjernelse af eksisterende stenhøfder	16
7.1.2	Prisoverslag for stenfyldte pælehøfde	16
7.1.3	Prisoverslag for stenkastning	17
7.1.4	Prisoverslag for sandfodring	17
7.2	Prisoverslag for forskellige løsningsforslag	17
7.2.1	Prisoverslag for "Løsningsforslag 1"	18
7.2.2	Prisoverslag for "Løsningsforslag 2"	18
7.2.3	Prisoverslag for "Løsningsforslag 3"	19
7.2.4	Prisoverslag for "Løsningsforslag 4"	19
7.3	Løbende omkostninger	20
8.	VURDERING AF FREMTIDIG KYSTUDVIKLING	20
9.	VIDERE FORLØB I DETAILPROJEKTERINGEN	20
	REFERENCER	21

1. INDLEDNING

Fredericia Kommune ønsker at genskabe forholdene ved Østerstrand som de var for ca. 60 år siden, blandt andet for at fastholde strækningens historiske udtryk samt for at skabe et mere rekreativt område. Dette inkluderer, reetablering af en bredere sandstrand samt etablering af nye høfder efter deres oprindelige konstruktionsprincip, der er stenfyldte pælehøfder. Kyststrækningen, der ønskes renoveret, er vist i Figur 1.



Figur 1: Kyststrækning hvor kystsikring ønskes renoveret. /1/

Rambøll har af Fredericia Kommune fået udleveret en rapport udarbejdet af DHI, /1/, vedrørende vurderinger mht. renovering af kystsikringen ved Østerstrand. Heri foreslås, af landskabelige såvel som tekniske årsager, at der etableres få og større kystbeskyttelseskonstruktioner i stedet for flere og mindre konstruktioner. Fredericia Kommune har således på baggrund af et skitseforslag fra DHI-rapporten udarbejdet et layoutforslag (præsenteret i /2/) for kystbeskyttelsen ved Østerstrand i form af fjernelse af eksisterende høfder samt etablering af tre nye længere høfder både nord og syd for badeanlægget. Nuværende situation, samt layoutforslaget fra Fredericia Kommune, er illustreret i Figur 2.



Figur 2: (venstre) Eksisterende forhold. (højre) Layoutforslag for fremtidige kystbeskyttelse. /2/

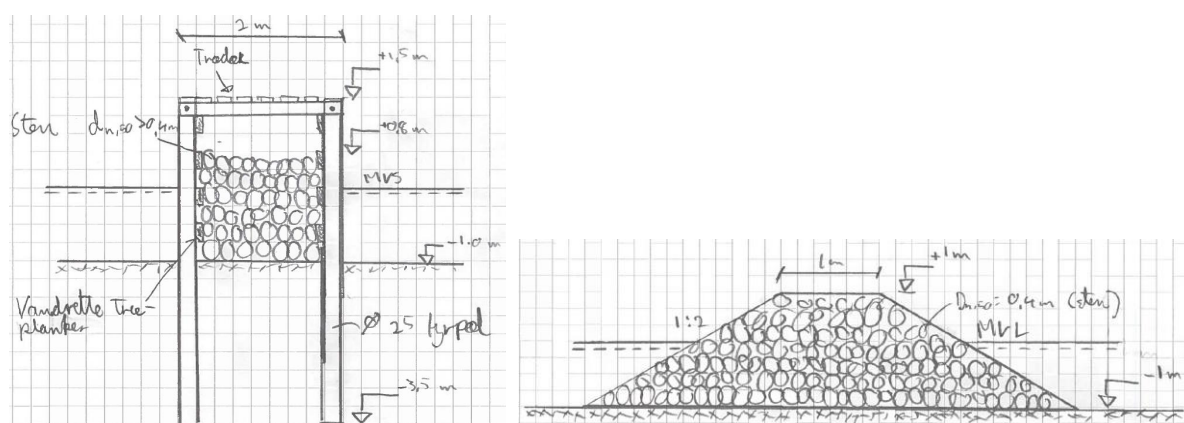
Nærværende rapport omhandler en skitseprojektering for kystrenovering af strækningen ved Østerstrand. Dette indebærer skitsering samt prisoverslag for udførelse af tre nye høfder som skitseret i Figur 2 (højre) inklusive prisoverslag for fjernelse af eksisterende høfder og sandfodring.

Skitseprojektet danner grundlag for valg af løsning mht. udførelse af høfderne i forhold til bygherrens budget og udgør dermed grundlaget for detailprojekteringen.

2. OPSUMMERING

Skitseprojektet er baseret på teoretiske vurderinger og forsimplede antagelser og overslag på vind-, bølge-, strøm-, og sedimentforholdene ved Østerstrand, Fredericia. Dette har dannet grundlag for opstilling af forskellige løsningsforslag med tilhørende prisoverslag for udførelse af tre nye høfder inkl. fjernelse af eksisterende høfder samt sandfodring.

Der er taget udgangspunkt i Fredericia Kommunes ønske om anlægning af stenfyldte pælehøfde. Hertil er dog foreslået en alternativ høfdekonstruktion bestående af en traditionel stenkastningshøfde. De to typer af høfdekonstruktioner har samme virkning mht. kystbeskyttelsen, men den traditionelle stenkastningshøfde er billigere sammenlignet med den stenfyldte pælehøfde. De to forslag er skitserede i Figur 3.



Figur 3: (venstre) Stenfyldte pælehøfde. (højre) Traditionel stenkastningshøfde.

Desuden er der foreslået to forskellige løsninger mht. sandfodring. Det optimale løsningsforslag inkluderer sandfodring i form af en 10 m bredere strand og det alternative, billigere forslag, inkluderer sandfodring på kritiske placeringer bag høfderne.

De to høfdetyper samt to løsningsforslag mht. sandfodring er kombineret i otte forskellige overordnede løsningsforslag med tilhørende skønnede samlede anlægsomkostninger (givet i Tabel 1 og Tabel 2).

Fjernelse af eksisterende høfder, anlæggelse af tre nye høfder + 10 m bredere strand		
Løsning 1	Tre stenfyldte pælehøfder	4.252.000 kr.
Løsning 2	To stenfyldte pælehøfder + en stenkastning	3.502.000 kr.
Løsning 3	En stenfyldt pælehøfde + to stenkastninger	2.637.000 kr.
Løsning 4	Tre stenkastninger	1.988.000 kr.

Tabel 1: Skønnede anlægsomkostninger for fire forskellige løsningsforslag inkl. 10 m bredere sandstrand. Priser er ekskl. moms.

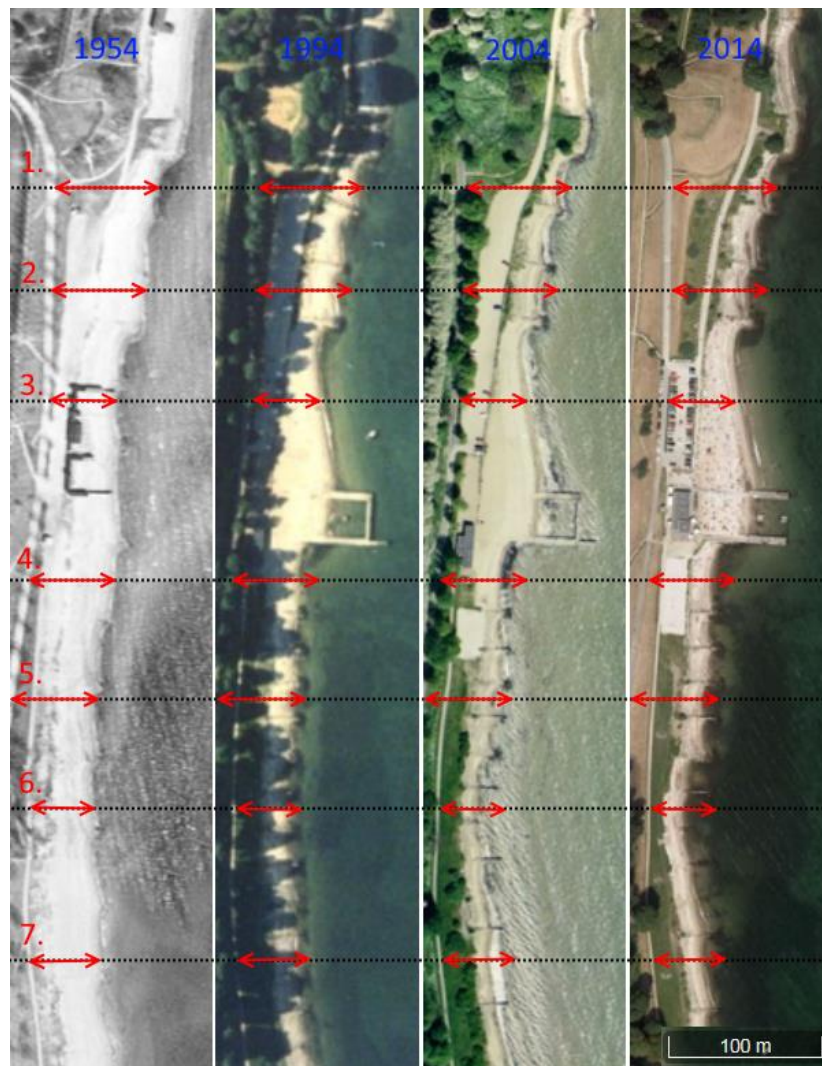
Fjernelse af eksisterende høfder, anlæggelse af tre nye høfder + sandfodring bag nye høfder		
Løsning 1	Tre stenfyldte pælehøfder	3.640.000 kr.
Løsning 2	To stenfyldte pælehøfder + en stenkastning	2.890.000 kr.
Løsning 3	En stenfyldt pælehøfde + to stenkastninger	2.024.000 kr.
Løsning 4	Tre stenkastninger	1.375.000 kr.

Tabel 2: Skønnede anlægsomkostninger for fire forskellige løsningsforslag inkl. sandfodring bag nye høfder. Priser er ekskl. moms.

3. DEN HISTORISKE KYSTMORFOLOGISKE UDVIKLING

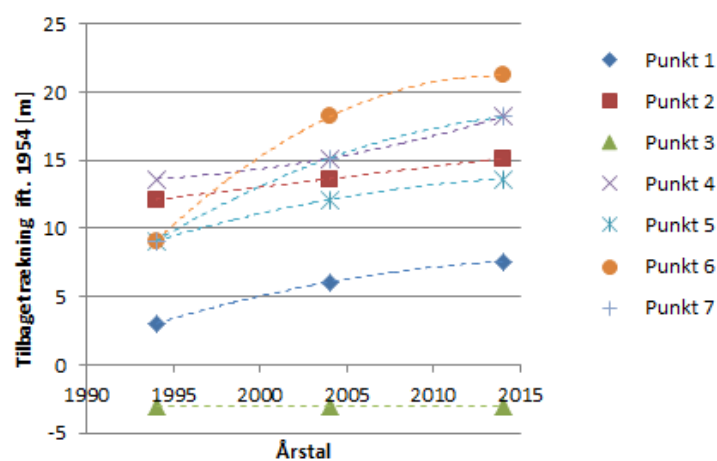
Den naturlige erosion langs Østerstrand er vedvarende, og ved enkelte områder er kystlinjen mindre end 20 meter fra Fredericias voldanlæg. Generelt er stranden blevet smallere gennem årene, hvilket også kan ses Figur 4 ved sammenligning af luftfotos fra Østerstrand fra årene 1954, 1994, 2004, samt 2014.

Ved at sammenligne afstande fra referencepunkter i baglandet til kystlinjens beliggenhed fra 1954-luftfotoet til luftfotos fra 1994, 2004, samt 2014 er tilbagetrækningen bestemt i 3 snit nord for badeanlægget og i 4 snit syd for badeanlægget. Den skønnede tilbagetrækning ift. 1954 er vist i Figur 5 samt Tabel 3, hvorfra det kan konkluderes, at tilbagetrækningen, med undtagelse af punkt 3, er øget i evalueringsperioden. Der er siden 1954 sket en lille forøgelse af strandbredden på nordsiden af badeanstalten (punkt 3). Badeanstalten består af to massive tæt-liggende pier/høfder, der er opbygget af spunsvægge og derfor fungerer som én stor høfde.



Figur 4: Evaluering af kystudvikling i årene 1994, 2004, 2014 i forhold til 1954. Satellitbilleder er fra /3/.

Som det ses af Figur 5 er sandophobningen på opstrømsiden af badeanlægget stabiliseret i perioden 1954 – 1994 hvorimod erosionen af stranden fortsætter ved de resterende referencepunkter.



Figur 5: Evaluering af kystudvikling i årene 1994, 2004, 2014 i forhold til 1954.

Tilbagetrækning af strandlinje ift. 1954 [m]				
Punkt	År 1994	År 2004	År 2014	
1	3	6	8	Nord for badeanstalten
2	12	14	15	
3	-3	-3	-3	
4	14	15	18	Syd for badeanstalten
5	9	12	14	
6	9	18	21	
7	9	15	18	

Tabel 3: Skønnet tilbagetrækning af kystlinje i forhold til 1954.

Den kontinuerede stranderosion på sydsiden af badeanlægget skyldes hovedsageligt, at Østerstrand reelt består af aflejrede sedimenter, der er eroderet fra den nordliggende kyststrækning. I takt med at den nordliggende kyststrækning kystsikres ved anlæg af høfder, reduceres mængden af tilført sediment, hvilket har påvirket sedimentbudgettet negativt. Herudover har kyststrækningen været udsat for såkaldt akut erosion pga. tværgående sandtransport, som hovedsageligt forekommer under storm, hvor kysten udsættes for sammenfaldende høje bølger samt høj vandstand. Det er derfor nødvendigt at gøre en indsats for at kunne bevare strandenge og Strandstien, samt voldanlægget. Dette gøres ved en hensigtsmæssig renovering af stenhøfder samtidig med sandfordring og etablering af en sandbuffer til beskyttelse mod stormflod.

Det ønskes fra Fredericia Kommunes side at opnå en strandbredde som for 50 år siden, hvilket vil øge den rekreative oplevelse af stranden.

Det fremgår, at den dominerende langsgående sedimenttransport er fra nord mod syd, hvilket ses ved sedimentaflejringer på nordsiden af høfderne, mest tydeligt ved badeanstalten. Dominerende sydgående sedimenttransport skyldes, at den fremhærskende bølgeretning er fra nordøst (NØ).

Dette stemmer overens med, at de største bølger ved Østerstrand forekommer ved vind fra denne retning, hvilket skyldes, at der her er et langt frit stræk, hvor bølgerne kan tiltage i højde og længde. En mere detaljeret beskrivelse af hydrografi, vandstand og bølgeforhold er givet i det følgende.

4. HYDROGRAFI, BUNDSSEDIMENTER, VANDSTAND OG BØLGEFORHOLD

4.1 Dybdeforhold

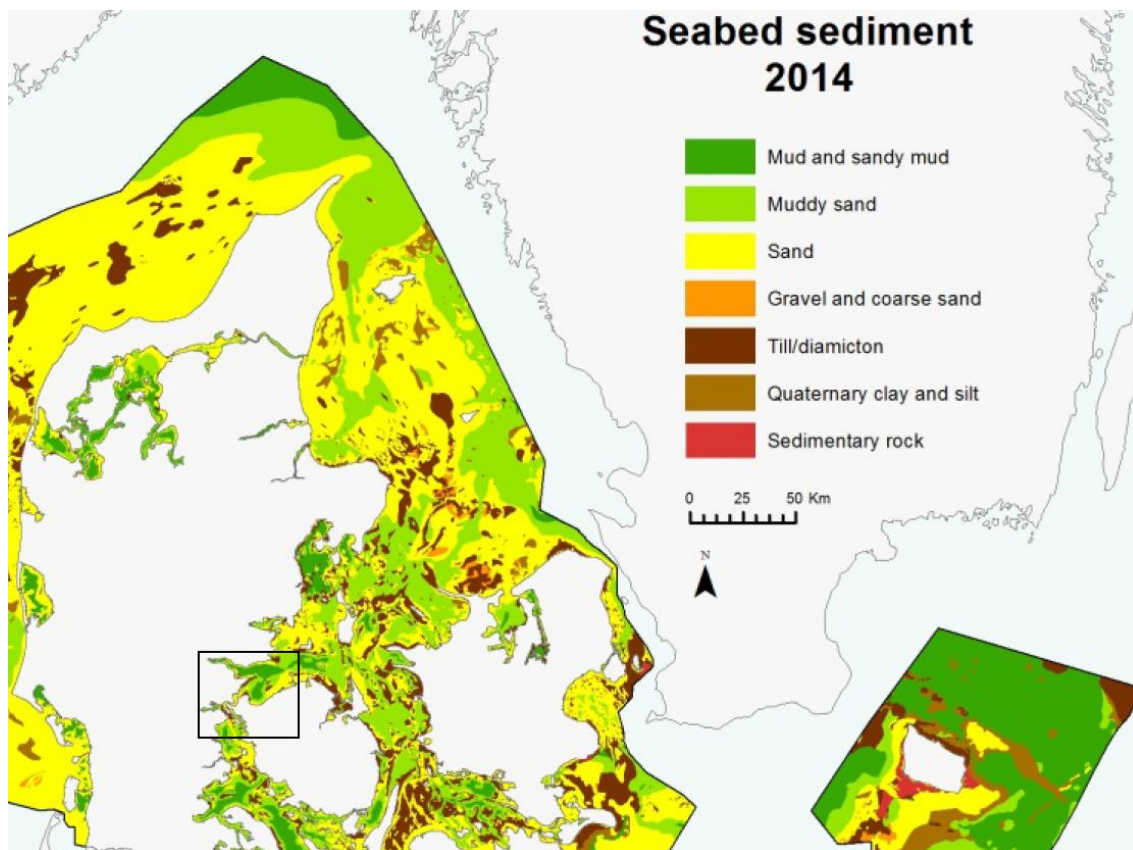
Dybdeforhold ved Østerstrand er vist på søkortet fra MIKE-CMAP i Figur 6. Det ses af søkortet, at 2 m dybdekurven er beliggende ca. 100 m fra stranden hvilket giver en hældning på 1:50 tættest ved kystlinjen.



Figur 6: Søkort med dybdeforhold for Østerstrand (fra MIKE-CMAP). Badeanstalten er markeret med en rød cirkel.

4.2 Bundsedimenter

For at kunne beskrive og vurdere sedimenttransporten langs kysten, er information mht. sedimenternes kornstørrelse nødvendig. På Figur 7 er vist et overfladekort med bundtype for den øverste meter af havbunden. Figuren viser, at der i området forekommer en blanding af sandet dynd, sand, samt moræne.



Figur 7: Overfladekort – gennemsnit af den øverste meter af havbunden. /4/

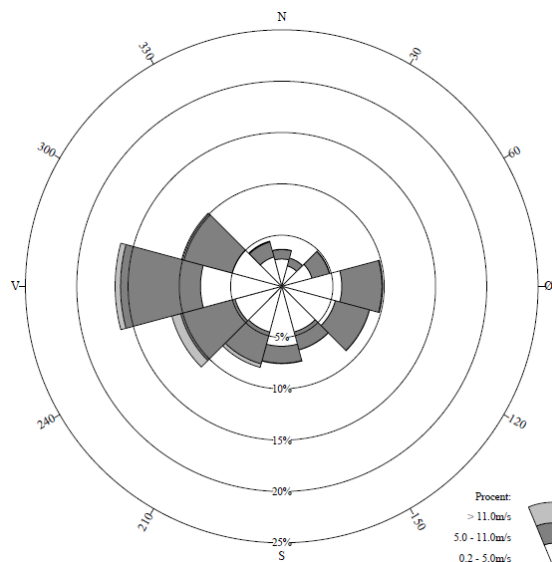
I forbindelse med udarbejdelsen af VVM-redegørelsen for Fredericia Lystbådhavn /5/ blev der lavet 20 boreprøver langs kysten syd for lystbådhavnen. Boringerne er udført på varierende dybder mellem ca. 1 – 9 m. Her blev det konstateret, at der forekommer en forholdsvis stor spredning af kornstørrelsen i de enkelte prøver med middeldkornstørrelser på mellem $d_{50} = 0.16 - 0.69$ mm. De laveste kornstørrelser blev konstateret i den nordlige del af prøveoptagningsområdet (tættest ved lystbådhavnen).

Som en lidt konservativ værdi for kornstørrelserne bliver der i nærværende skitseprojekt benyttet en middeldkornstørrelse på $d_{50} = 0.2$ mm.

4.3 Vind

Vindforholdene i det nordlige Lillebælt er baseret på statistisk bearbejdede vindmålinger fra Koldingegnens Lufthavn målt i 10 m over terræn i perioden 01-01-91 - 31-12-98 /6/ samt fra statistisk bearbejdede vindmålinger fra Beldringe Fyr på Nordfyn målt i 8 m over terræn fra perioden 01-10-1972 - 31-10-1979 /7/.

På Figur 8 ses et eksempel på fordelingen af vindhastigheder og -retninger i form af en vindrose. Det fremgår af figuren, at de mest forekomne vindretninger ved Fredericia er vestlige, hvorimod de mere relevante vindretninger omkring nordøst og sydøst, mht. bølger ved Østerstrand, kun udgør en mindre del af det samlede vindklima. Højeste middel- og maksimal vindhastigheder er desuden forekomne ved vestlige retninger.



Figur 8: Vindrose baseret på vindmålinger fra Koldingegnens Lufthavn i perioden 01-01-91 - 31-12-98 /6/

Ved lave vindhastigheder (≤ 4 m/s) forekommer som udgangspunkt ingen langsgående bølgegenereret sedimenttransport. Vinddata fra "European Wind Atlas", som er udarbejdet under ledelse af RISØ /7/, er præsenteret i Tabel 4. Vinddataene er baseret på målte vinddata fra Beldringe i 8 m højde.

Grundet de geografiske forhold med læ-virkning, og således store variationer i det frie stræk mht. bølgegenerering, fra bl.a. Endelave samt Samsø er i /5/ gjort antagelsen om, at opløse vindenergien omkring 60° med $\frac{3}{4}$ af energien omkring 56° og $\frac{1}{4}$ omkring 71° . Samme fremgangsmåde benyttes i dette projekt.

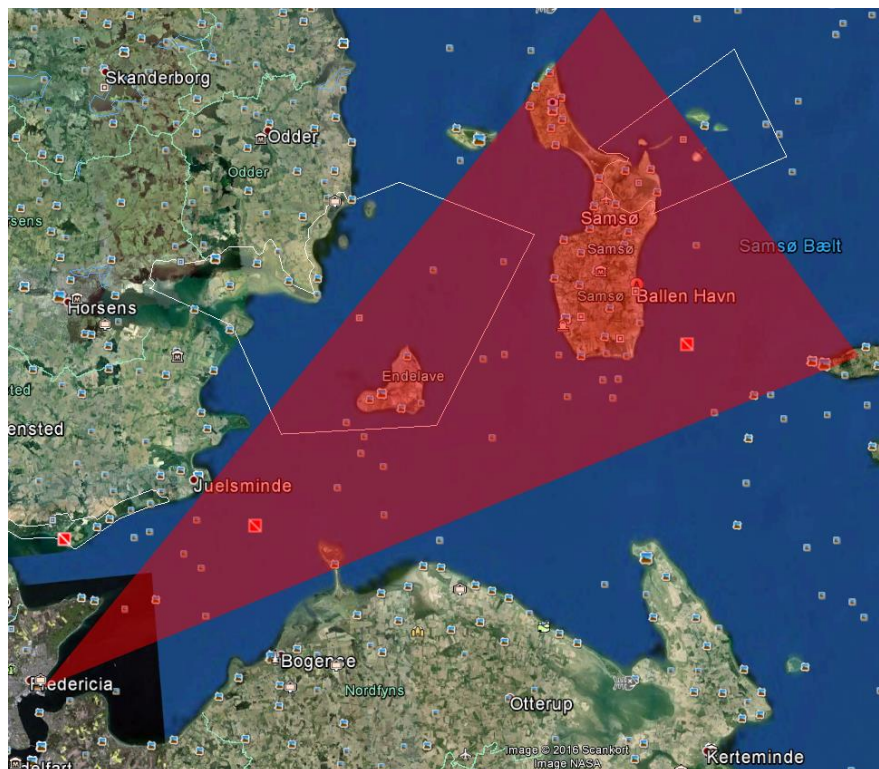
Vindretning [°]		$u \leq 4$	$4 < u \leq 6$	$6 \leq u < 11$	$11 \leq u < 17$
NNØ	30	2.69	1.20	0.97	0.04
NØ	56	2.69	1.07	0.87	0.16
ØNØ	71	0.90	0.36	0.29	0.05
ØSØ	120	4.79	2.17	2.69	0.24
SØ	150	3.48	1.28	0.77	0.06

Tabel 4: Hyppighed af vind i % i 8 meters højde for det nordlige Lillebælt fordelt på relevante vindretninger og vindhastigheder efter European Wind Atlas /7/. U er vindhastigheden.

4.4 Bølgeforhold

Bølgeforholdene ved Østerstrand er vigtige i forhold til bestemmelse af bølgegenererede langsgående samt tværgående strømme, som vil have indflydelse på sedimenttransporten.

Østerstrand er mest eksponeret for bølger fra nordøstlige retninger pga. det forholdsvis lange frie stræk (se Figur 9). Grundet den beskyttede placering af Østerstrand ift. større farvande kan det med stor sikkerhed antages, at bølgerne ved Østerstrand er vindgenererede af lokale vindforhold. Det kan således forudsættes, at bølgehøjder og -retninger er fuldt sammenfaldne med vindhastighed og -retning. Bølgeforholdene i Tabel 5 er derfor bestemt via teorien for hindcast af vindgenererede bølger af /8/.



Figur 9: Illustration af bølgeeksponering ved Østerstrand.

Vindretning		Frit stræk [km]	Middelvanddybde [m]	Varighed [t]	5.5 m/s	11 m/s	15 m/s
					H_{m0}/T_p	H_{m0}/T_p	H_{m0}/T_p
NNØ	30°	1.36	5	3	0.13/1.31	0.306/1.74	0.447/1.97
NØ	56°	64.5	15	3	0.459/3.02	1.32/4.62	2.08/5.58
ØNØ	71°	116	15	3	0.459/3.03	1.32/4.63	2.08/5.59
ØSØ	120°	2.8	15	3	0.187/1.66	0.439/2.21	0.643/2.51
SØ	150°	2.6	15	3	0.18/1.62	0.423/2.16	0.619/2.45

Tabel 5: Bølgeforhold på dybt vand ud for Østerstrand - baseret på vindstatistik fra Tabel 4 samt /8/.

Ud fra Tabel 4 kan det konkluderes, at den oftest forekommende bølgeretning (af de relevante bølgeretninger ift. sedimenttransport ved Østerstrand) er fra ØSØ hvorimod det ud fra Tabel 5 fremgår, at de største bølger er fra ØNØ og NØ. Det forventes derfor, at dominerende bølgeretning ift. sedimenttransport er fra ØNØ og NØ.

Det skal nævnes, at bølgerne, som er præsenteret i Tabel 5, er på forholdsvis dybt vand. Bølgehøjderne vil være reducerede tættere ved Østerstrand pga. bølgebrydning. På f.eks. 1 m vanddybde vil bølger højere end 0.78 m bryde. Den maksimale bølgehøjde ved 2 m dybdekurven (som ligger ca. 100 m fra stranden) er således $2 \cdot 0.78 \text{ m} = 1.56 \text{ m}$. Dog vil der i forbindelse med højvande på f.eks. +1 m kunne opstå bølger på op til 2.34 m på samme placering.

Bølgeforholdene i Tabel 4 vil senere benyttes til estimering af sedimenttransporten ved Østerstrand.

4.5 Stormflod og højvande

Forhøjet vandstand i den nordlige del af Lillebælt vil kunne forekomme i tilfælde af vind fra nordlige vindretninger /5/. Af kystdirektoratets højvandstatistik for Fredericia Havn /9/, fås de statistiske middelvandstande i Tabel 6.

Statistiske middelvandstande	
Returperiode [år]	Vandstand [cm]
100	145
50	139
20	130
1	89

Tabel 6: Vandstandsstatistik fra Fredericia Havn – baseret på måledata fra 1889 – 2012 /9/

Til Tabel 6 skal lægges stigningen i middelvandstand som følge af klimaforandringer. Ifølge de seneste prognoser forventes middelvandstanden at stige med 0.6 m frem til 2100. Dette betyder f.eks. at en 100 års hændelsen som i dag er på 145 cm vil være en 1 års hændelse i år 2100.

4.6 Strømforhold

Det forventes, at bølgegenererede strømme vil være dominerende ift. den kystnære sedimenttransport ved Østerstrand og derfor vil strømme baseret på tidevands- og meteorologiske forhold ikke tages i betragtning i skitseprojektet.

De bølgegenererede strømmes dominans kan tydeligt observeres af sedimentaflejringerne beliggenhed på nordsiden af høfderne (se Figur 10) hvilket stemmer overens med forekomsten af de største bølger fra nordøstlige retninger.



Figur 10: Illustration af sedimentaflejringerne beliggenhed på nordsiden af høfderne grundet største bølger fra disse retninger.

5. VURDERING AF SEDIMENTTRANSPORT

I dette afsnit gives en overslagsmæssig vurdering af den potentielle langsgående bølgeinducerede sedimenttransport. Denne er vigtig ift. at skønne om den potentielle blokering fra de nye høfder samt til at bestemme længden af disse.

Beregningen af den potentielle langsgående sandtransport baseres på de beregnede bølgeforhold givet i Tabel 5 og via Kamupish sedimenttransport formel i (1).

$$Q = 6.4 \cdot 10^4 \cdot H_{sb}^4 \cdot T_{0,p}^{1.5} \cdot m_b^{0.75} \cdot D^{-0.25} \cdot \sin^{0.6} 2\alpha_b \quad (1)$$

hvor

Q er den årlige potentielle langsgående sedimenttransport [$m^3/\text{år}$],

H_{sb} er brydningshøjden for den signifikante bølgehøjde, H_s [m],

$T_{0,p}$ er peakperioden på dybt vand [s],

D er kornstørrelsen for sedimentet [m],

m_b er strandprofils hældning i brydningszonen [-],

α_b er brydningsvinklen [$^\circ$].

H_{sb} og tilhørende brydningsdybde D_b samt α_b er beregnet via teorien beskrevet i /11/.

Den samlede årlige sedimenttransport bestemmes ved at vægte forekomsterne/hyppigheden af bølgerne for de forskellige bølgeretninger og for de forskellige vindhastigheder. Resultater er præsenteret i Tabel 7, Tabel 8 og Tabel 9. Sedimenttransport med positivt fortegn er sydgående.

Vindhastighed = 5.5 m/s										
Vindretning [°]		Bølgeret- ning ift. Strand [°]	H _s [m]	T _p [s]	H _{s,b} [m]	D _b [m]	Brydningsvin- kel ift. Strand [°]	Q [m ³ /år]	[% pr år]	Årlig trans- port [m ³ /år]
NNØ	30	60	0.13	1.31	0.10	0.17	28.37	414	1.20	5
NØ	56	34	0.46	3.02	0.44	0.77	17.67	20910	1.07	223
ØNØ	71	19	0.46	3.03	0.46	0.81	10.36	17030	0.36	60
ØSØ	120	-30	0.19	1.66	0.18	0.36	-18.11	-1512	2.17	-33
SØ	150	-60	0.18	1.62	0.15	0.28	-29.36	-1134	1.28	-14
I alt										241

Tabel 7: Vægtede samlede langsgående sedimenttransport ved vindhastighed = 5.5 m/s.

Vindhastighed = 11 m/s										
Vindretning [°]		Bølgeret- ning ift. Strand [°]	H _s [m]	T _p [s]	H _{s,b} [m]	D _b [m]	Brydningsvin- kel ift. Strand [°]	Q [m ³ /år]	[% pr år]	Årlig trans- port [m ³ /år]
NNØ	30	60	0.306	1.74	0.23	0.45	36.40	3455	0.9702	34
NØ	56	34	1.32	4.62	1.22	2.18	19.44	318200	0.8736	2780
ØNØ	71	19	1.32	4.63	1.27	2.28	11.37	259000	0.2912	754
ØSØ	120	-30	0.439	2.21	0.40	0.79	-20.72	-11650	2.6866	-313
SØ	150	-60	0.423	2.16	0.32	0.53	-32.49	-8565	0.7728	-66
I alt										3188

Tabel 8: Vægtede samlede langsgående sedimenttransport ved vindhastighed = 11 m/s.

Vindhastighed = 15 m/s										
Vindretning [°]		Bølgeret- ning ift. Strand [°]	H _s [m]	T _p [s]	H _{s,b} [m]	D _b [m]	Brydningsvinkel ift. Strand [°]	Q [m ³ /år]	[% pr år]	Årlig trans- port [m ³ /år]
NNØ	30	60	0.447	1.97	0.3	0.555	36.08	8544	0.0441	4
NØ	56	34	2.08	5.58	1.9	3.44	20.14	1048000	0.1632	1710
ØNØ	71	19	2.08	5.59	2	3.601	11.77	851400	0.0544	463
ØSØ	120	-30	0.643	2.51	0.6	1.154	-22.10	-30110	0.2424	-73
SØ	150	-60	0.619	2.45	0.5	0.894	-36.76	-22940	0.0616	-14
I alt										2090

Tabel 9: Vægtede samlede langsgående sedimenttransport ved vindhastighed = 15 m/s.

Den samlede sydgående potentielle nettotransport er således skønnet til $Q = 241 \text{ m}^3 + 3188 \text{ m}^3 + 2090 \text{ m}^3 = 5519 \text{ m}^3$. Resultatet benyttes i et senere afsnit.

Sedimenttransporten er baseret på nutidige vind- /bølge-/vandstands- forhold og tager derfor ikke højde for klimaændringer. Øget vindintensitet samt vandstand vil øge transporten. De beregnede mængder forudsætter ligeledes, at der er tilstrækkelig med sedimenter til rådighed med den forudsatte kornstørrelse.

6. LØSNINGSFORSLAG TIL RENOVERING AF HØFTER

6.1 Anbefalet placering og længde af høfder

Østerstrand er indrammet af to kunstige kystfremspring/pynter skabt som følge af hård kystsikring i form af stenbeskyttelse. De kunstige kystfremspring fungerer begge som høfder.

På baggrund af de overordnede sedimenttransportvurderinger samt guidelines i litteraturen er i Figur 11 givet layoutforslag for placering og længde af høldeerne. Høldehlængderne er bestemt ud fra den rette linje mellem de to kystfremspring. Hermed vil de nye hølde ikke give anledning til en yderligere blokering af den overordnede sedimenttransport, de vurderes i stedet at virke stabiliserende på kystlinjen i bugten, som udgør Østerstrand.



Figur 11: Layoutforslag for ny kystbeskyttelse.

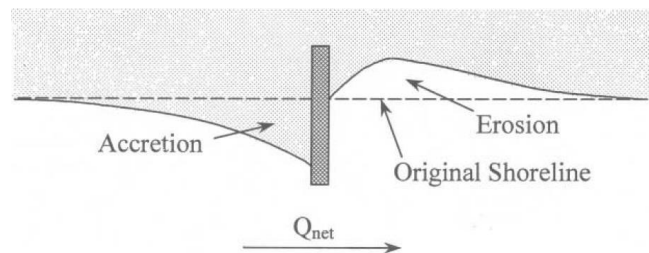
Høldehlængder svarende til layoutforslaget i Figur 11 er givet i Tabel 10.

Hølde nr.	Længde [m]
1	38
2	60
3	52

Tabel 10: Høldehlængder svarende til layoutforslaget i Figur 11.

6.2 Sandfodring

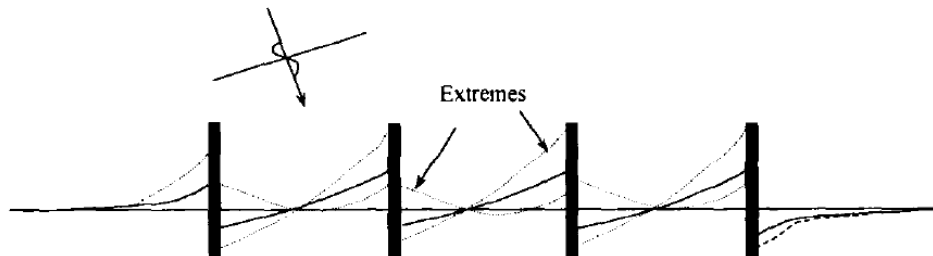
Opførelse af nye hølde vil ikke fjerne problemet mht. erosion. Faktisk vil der efter nogen tid opstå erosion på nedstrømsiden af hølde (se illustration i Figur 12). Fordelen er dog, at hvis der etableres flere sidelæggende hølde vil de afhjælpe hinanden ift. erosion på nedstrømsiden.



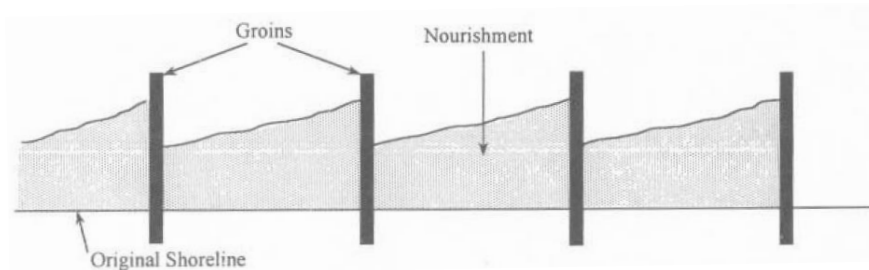
Figur 12: Principskitse for sandophobning og erosion ved hølde. /11/

Ifølge /11/ anbefales det, at der sandfodres umiddelbart efter, at de nye hølde er etableret. Grunden til dette er, at der umiddelbart efter etablering af høldeerne vil opstå erosion på nedstrømsiden. Hvis der ikke er tilført ekstra sand, vil erosionen foregå i den eksisterende strand, hvilket er skitseret i Figur 13. Situationen efter sandfodring er skitseret på Figur 14.

En udvidelse af strandbredden vil desuden betyde en øget robusthed ift. stormflod.



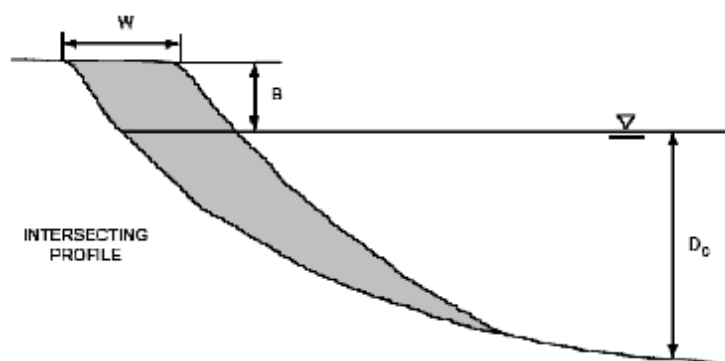
Figur 13: Skitse af kystudvikling umiddelbart efter etablering af de nye hølde (uden sandfodring). /11/



Figur 14: Skitse af kystudvikling umiddelbart efter etablering af de nye høfder (med sandfodring). / 11/

Det nødvendige sandvolumen, som følge af øget strandbredde, er en funktion af blandt andet strandbredden, strandhøjden, kornstørrelsen af sandfodringsmaterialet og beregnes via metoden givet i /12/.

Sandfodringsvolumenet er skitseret i Figur 15 og beregnes via formelen i (2) hvor W er strandbredden, B er strandhøjden, A_N og A_F er skalaparametre som afhænger af kornstørrelsen. Hældningen af den eksisterende strandplan og sandfodringsvolumenet afhænger af sandkornstørrelserne.



Figur 15: Nødvendig sandvolumen til udvidelse af stranden. / 12/

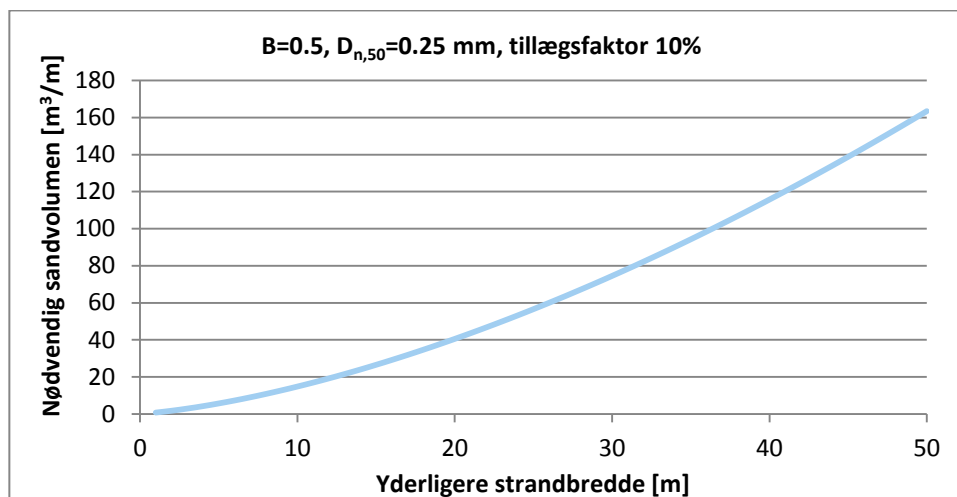
$$V = WB + \frac{3/5W^{5/3}A_NA_F}{(A_F^{3/2} - A_N^{3/2})^{2/3}} \quad (2)$$

Normalt anbefales det, at sandfodre med sand som har højere kornstørrelse end det eksisterende sand på kyststrækningen. Herudover inkluderes normalt en tillæggsfaktor til det nødvendige sandvolumen, som tager højde for at de mindste sandfraktioner vil blive transporteret bort på forholdsvis kort tid.

I Figur 16 er lavet en beregning af det nødvendige sandvolumen til sandfodring som funktion af strandbredden. Figuren er baseret på:

- en antaget strandhøjde på 0.5 m (som vil medføre en øget beskyttelse mod forhøjet vandstand og stormflod),
- en middel kornstørrelse på $d_{50}=0.25 \text{ mm}$ (0.05 mm større end på den eksisterende strand)
- en tillæggsfaktor på 10% (dvs. en antagelse om at 10% af det indpumpede sand vil forsvinde på forholdsvis kort tid).

Hvis der sandfodres med materiale, der har en kornstørrelse højere end 0.25 mm vil det nødvendige sandvolumen reducere.



Figur 16: Nødvendig sandvolumen til udvidelse af strandbredde.

Ud fra de overordnede betragtninger ift. hofdernes længde, og den historiske morfologiske udvikling af kysten omkring havnebadet, vurderes det, at en optimal forøgelse af strandbredden ift. den fremtidige skønnede erosion vil være omkring 10 m (som skitseret i Figur 17). Det vurderes, at der ikke vil være behov for at sandfodre på nordsiden af hofde 1, da hofde 1 med tiden vil fange sand, som vil ophobe sig her.



Figur 17: Optimal forøgelse af strandbredde via sandfodring. Den sorte linje illustrerer kystlinjens placering efter sandfodring.

Et godt kompromis ift. omkostninger mht. sandfodringen kan dog være udelukkende at sandfodre umiddelbart på nedstrømsiden af hofdernes, hvor den største erosion vil forekomme. Jf. afsnit 5 forekommer der en sydgående nettotransport, hvormed sandfodringen skal foregå på sydsiden af hofdernes. Med tiden vil hofdernes fange sand, som vil lægge sig på nordsiden, og det vurderes, at stranden efter en årrække vil opnå en generel udvidelse. Det skal dog nævnes, at stranden i mellemtiden vil være mere følsom overfor forhøjet vandstand og stormflod ift. hvis der sandfodres langs hele kystlinjen. Kompromiset, som er skitseret i Figur 18, vil betyde at sandvolumenet i Figur 17 kan reduceres til ca. 1/3.



Figur 18: Alternativt priskompromis ift. forøgelse af strandbredden via sandfodring. Den sorte linje illustrerer kystlinjens placering efter sandfodring.

6.3 Konstruktionsforslag og prisoverslag for hofdeudførelse

Fredericia Kommune ønsker som tidligere nævnt, at genskabe hofdernes efter deres oprindelige konstruktionsprincip, som stenfyldte pælehøfder. Herudover er hofdernes i det udleverede materiale skitseret med en belægning, hvilket muliggør at badegæster kan færdes på dem.

For at imødekomme en optimal løsning ift.;

- Fredericia Kommunens ønsker omkring hofdeudformning
- anlægsomkostningerne,

opstilles der et alternativ til udformningen af hofdernes. De to præsenterede muligheder for udformning af hofdernes giver således anledning til forskellige kombinationer af hofdetyperne. De to udformninger af hofder er følgende:

- stenfyldt pælehøfde med belægning
- traditionel stenkastningshøfde

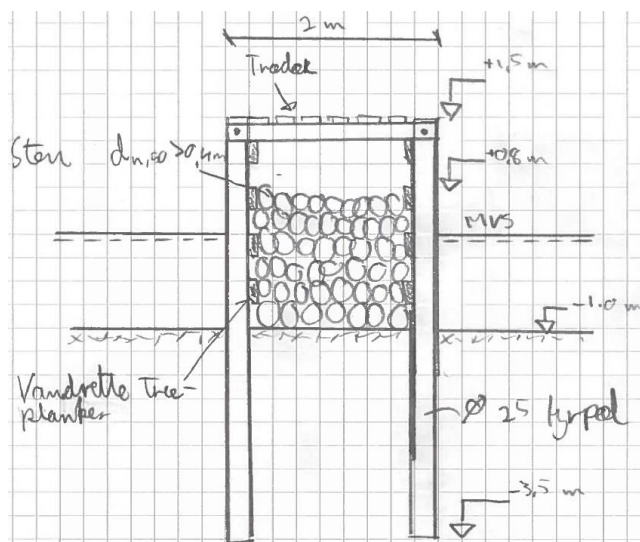
I det følgende benævnes de to konstruktionsudformninger henholdsvis "primær konstruktionsforslag" og "alternativ konstruktionsforslag". Det primære konstruktionsforslag skal betragtes som den optimale løsning ift. Fredericia Kommunens ønsker, og det alternative konstruktionsforslag skal betragtes som det billigere kompromis. Funktionen af de to høfdetyper vil dog være den samme.

6.3.1 Primært konstruktionsforslag - Stenfyldt pælehøfde

Der antages en middelvanddybde for hver høfde på 1 m. Vanddybden vil være mindre tættest ved stranden og højere længst fra stranden.

Der foreslås rammet marint-imprægnerede fyrtræspæle med en diameter på $\varnothing 25$ cm og med en indbyrdes afstand på 1 m. Mellem pælene fyldes med sten til kote +0.8. Stenopfyldet vil bestå af stenmaterialer med en diameter $D_{50} > 0.4$ m. For at sikre, at stenene ikke forsvinder ud mellem pælene placeres horisontale planker med passende mellemrum. Alternativt kan pælene placeres tættere, hvilket dog vil øge omkostningerne kraftigt, da det er forholdsvis dyrt, at ramme pæle i vand. Der foreslås en høfdebredde på 2 m og en høfdehøjde til kote +1.5 m. Høfderne foreslås beklædt med et træ dæk.

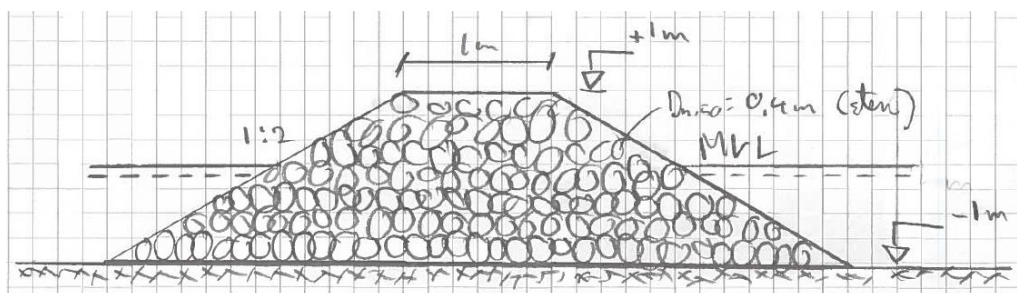
Et tværsnit af den stenfyldte pælehøfde er skitseret i Figur 19.



Figur 19: Skitse af den stenfyldte pælehøfde

6.3.2 Alternativt konstruktionsforslag - Stenkastning

Igen antages en middelvanddybde for hver høfde på 1 m. Det alternative konstruktionsforslag består af en traditionel stenkastning med en kronebredde på 1 m og med en skråningshældning på 1:2. Topkoten for stenkastningen skønnes til +1 m og stenstørrelsen vurderes til $D_{50} > 0.4$ m. Et tværsnit af stenkastningen er skitseret i Figur 20.

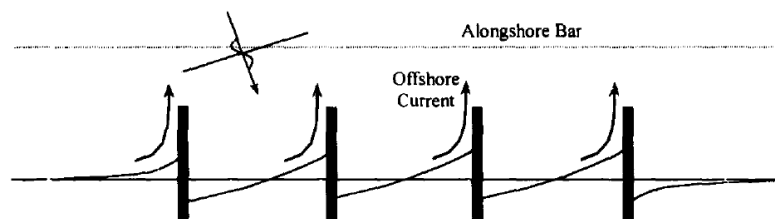


Figur 20: Skitse af stenkastningsløsningen.

6.4 Strømforhold omkring høfderne

Anlæggelsen af høfder vil give anledning til en ændring af de kystnære strømforhold, da den langsgående strømning brydes.

Der kan forekomme en udadgående strøm på bølgesiden af høfderne (se skitsen på Figur 21).



Figur 21: Skitse af udadgående strøm på bølgesiden af høfderne /11/

På nedstrømsiden kan læside-hvirvlen give anledning til en udadgående strømning. Disse strømme kan i værste tilfælde være farlige for badegæster, og man bør derfor normalt undgå at bade i nærheden af bølgebrydere, høfder samt moler, når der er bølger.

Sandfodringen og sandophobningen ved høfderne vil dog betyde, at vanddybden langs kysten og ved konstruktionerne reduceres, hvilket kan være med til at øge badesikkerheden, da bølgehøjden dermed reduceres.

Det skal hertil nævnes, at den langsgående strøm og dermed de genererede hvirvler og udadgående strømme vil være stærkest ved høj blæst og store bølger, og i disse perioder forventes ikke badegæster på stranden. Dette understøttes af, at det eksisterende badeanlæg, som også fungerer som høfde, ikke umiddelbart har givet anledning til farlige situationer i den nuværende situation.

7. PRISOVERSLAG

Baseret på de præsenterede forskellige konstruktionsudformninger, præsenteret i afsnit 6, gives i det følgende overslag på enhedspriser [kr/m] for etableringen af dem – derefter gives forslag til forskellige kombinationer af disse med tilhørende anlægsomkostninger.

7.1 Enhedspriser

Overslag for enhedspriser inkluderer:

- Fjernelse af eksisterende høfder
- Konstruktion af nye høfder (to løsningsforslag)
- Sandfodring

Alle priser i det følgende er ekskl. moms. og er baseret på Rambølls seneste erfaringer i Danmark.

7.1.1 Prisoverslag for fjernelse af eksisterende stenhøfder

Det skønnes, at de eksisterende høfder består af omkring 240 m^3 sten. Stenene betragtes som en tilgængelig ressource, der kan benyttes til konstruktion af de nye høfder. Flytningen af stenene er dog ikke omkostningsfrit, og omkostningerne hertil indgår i prisoverslagene for de nye høfder.

7.1.2 Prisoverslag for stenfyldte pælehøfde

I Tabel 11 er givet et prisoverslag i [kr/m] for det primære konstruktionsforslag (stenfyldt pælehøfde) som er skitseret i Figur 19. Hertil kommer anstillingsomkostninger, som er skønnet i Tabel 12. Sanddæmningen er midlertidig og benyttes for at kunne etablere de stenfyldte pælehøfder fra landsiden. Stenene fra de gamle høfder genbruges og suppleres med nye – for at sikre den anbefalede stenstørrelse.

Prisoverslag for stenfyldt pælehøfde (primære konstruktionsforslag)	
Beskrivelse	Enhedspris [kr/m]
Pæle (2 stk pr m, monteret)	5.600
Sten (4 m ³)	1.600
Trædæk inkl. horisontale planker mellem pæle	8.200
Samlet	15.400

Tabel 11: Enhedspriser for det primære konstruktionsforslag.

Tillægsomkostninger stenfyldt pælehøfde (primære konstruktionsforslag)	
Sanddæmning	1.000 kr/m
Rammegrej	80.000 kr
Arbejdsplads	+15 % af anlægsomkostninger
Uforudsete	+10 % af anlægsomkostninger

Tabel 12: Tillægsomkostninger for det primære konstruktionsforslag.

7.1.3 Prisoverslag for stenkastning

I Tabel 13 er givet et prisoverslag i [kr/m] for det alternative konstruktionsforslag (stenkastning) skitseret i Figur 20. Hertil kommer anstillingsomkostningerne som er skønnet i Tabel 14. Igen kræves der en midlertidig sanddæmning til entreprenørmaskiner for at sikre, at høfderne kan etableres fra landsiden.

Prisoverslag for stenkastning (alternative konstruktionsforslag)	
Beskrivelse	Enhedspris [kr/m]
Sten (10 m ³)	4.000
Samlet	4.000

Tabel 13: Enhedspriser for det alternative konstruktionsforslag.

Tillægsomkostninger for stenkastning (alternative konstruktionsforslag)	
Sanddæmning	1000 kr/m
Arbejdsplads	+15 % af anlægsomkostninger
Uforudsete	+10 % af anlægsomkostninger

Tabel 14: Tillægsomkostninger for det alternative konstruktionsforslag.

7.1.4 Prisoverslag for sandfodring

Sandfodringen foregår via indpumpning fra et skib og der er derfor, ud over omkostningerne for sandet, en tillægsomkostning for anstilling af rørledninger fra skibet til stranden samt håndtering/udlægning af sandet på stranden. Der tillægges en forholdsvis stor post til uforudsete omkostninger grundet den komplekse arbejdsform. Enhedspriser for sandfodringen er givet i Tabel 15.

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris [kr]
Sand og håndtering	m ³	75
Anstilling af rørledninger mm	stk/indpumpningssted	100.000
Uforudsete	20 % af anlægsomkostninger	-

Tabel 15: Enhedspriser for sandfodring.

7.2 Prisoverslag for forskellige løsningsforslag

I det følgende præsenterer fire forskellige løsningsforslag, hvor de to forskellige høfdeudformninger kombineres.

7.2.1 Prisoverslag for "Løsningsforslag 1"

Løsningsforslag 1 er den løsning, der bedst tilfredsstiller Fredericia Kommunes ønsker om pæleindrammede høfder og øget sandstrand. Løsningsforslaget inkluderer hermed tre nye høfder udført som stenfyldte pælehøfder, fjernelse af eksisterende høfder, samt en strandudvidelse på 10 m langs hele kyststrækningen ved Østerstrand (den optimale forøgelse af strandbredden som skitseret i Figur 17). Samlede skønnede omkostninger til løsningsforslag 1 er givet i Tabel 16.

Løsningsforslag 1					
Beskrivelse		Antal	Enhed	Enhedspris [kr]	Pris [kr]
Nye høfder (inkl. fjernelse af eksisterende)	Høfde 1	38	m	15.400	585.200
	Høfde 2	60	m	15.400	924.000
	Høfde 3	52	m	15.400	800.800
	Sanddæmning	150	m	1.000	150.000
	Rammegrej	1	Stk.	80.000	80.000
	Arbejdsplads 15%	15	%	-	381.000
	Uforudsete 10%	10	%	-	292.100
Sandfodring	Sandfodring – "optimal"	10	m	75	765.782
	Tillægsomkostninger	1	Stk.	100.000	100.000
	Uforudsete 20%	20	%	-	173.156
Sum		4.252.000			

Tabel 16: Omkostninger til "Løsningsforslag 1"

Benyttes det alternative priskompromis ift. sandfodringen (kun fodring nedstrøms for høfderne) kan prisoverslaget for Løsningsforslag 1 reduceres til **3.639.000 kr.**

7.2.2 Prisoverslag for "Løsningsforslag 2"

Løsningsforslag 2 er en kompromisløsning ift. Fredericia Kommunes ønsker om pæleindrammede stenkastninger. Kystbeskyttelsesfunktionen er dog uændret ift. Løsningsforslag 1.

Løsningsforslaget inkluderer, at de to høfder, som ligger tættest ved havnebadet (høfde 1 og 2) udføres som stenfyldte pælehøfder, hvorimod høfde 3, som ligger mere afsides, udføres som stenkastninger. Hertil kommer fjernelse af eksisterende høfder, samt en strandudvidelse på 10 m langs hele kyststrækningen ved Østerstrand (den optimale forøgelse af strandbredden som skitseret i Figur 17). Samlede skønnede omkostninger til Løsningsforslag 2 er givet i Tabel 17.

Løsningsforslag 2					
Beskrivelse		Mængde	Enhed	Enhedspris [kr]	Pris [kr]
Nye høfder (inkl. fjernelse af eksisterende)	Høfde 1	38	m	15.400	585.200
	Høfde 2	60	m	15.400	924.000
	Høfde 3	52	m	4.000	208.000
	Sanddæmning	150	m	1.000	150.000
	Rammegrej	1	Stk.	80.000	80.000
	Arbejdsplads 15%	15	%	-	292.080
	Uforudsete 10%	10	%	-	223.928
Sandfodring	Sandfodring - optimal	10	m ³	75	765.782
	Tillægsomkostninger	1	Stk.	100.000	100.000
	Uforudsete 20%	20	%	-	173.156
Sum		3.502.000			

Tabel 17: Omkostninger til "Løsningsforslag 2"

Benyttes det alternative priskompromis ift. sandfodringen kan prisoverslaget for Løsningsforslag 2 reduceres til **2.890.000 kr.**

7.2.3 Prisoverslag for "Løsningsforslag 3"

Løsningsforslag 3 er en billigere kompromisløsning, dog uden at gå på kompromis med kystbeskyttelsesfunktionen. Løsningsforslaget inkluderer, at kun hofde 1, som ligger tættest ved havnebade, udføres som stenfyldte pælehofder, hvorimod hofde 2 og 3, som ligger mere afsides, udføres som stenkastninger. Hertil kommer fjernelse af eksisterende hofder, samt en strandudvidelse på 10 m langs hele kyststrækningen ved Østerstrand (den optimale forøgelse af strandbredden som skitseret i Figur 17). Samlede skønnede omkostninger til løsningsforslag 3 er givet i Tabel 18.

Løsningsforslag 3					
Beskrivelse		Mængde	Enhed	Enhedspris [kr]	Pris [kr]
Nye hofder (inkl. fjernelse af eksisterende)	Hofde 1	38	m	15.400	585.200
	Hofde 2	60	m	4.000	240.000
	Hofde 3	52	m	4.000	208.000
	Sanddæmning	150	m	1.000	150.000
	Rammegrej	1	Stk.	80.000	80.000
	Arbejdsplads 15%	15	%	-	189.480
	Uforudsete 10%	10	%	-	145.268
Sandfodring	Sandfodring - optimal	10	m ³	75	765.782
	Tillægsomkostninger	1	Stk.	100.000	100.000
	Uforudsete 20%	20	%	-	173.156
Sum		2.637.000			

Tabel 18: Omkostninger til "Løsningsforslag 3"

Benyttes det alternative priskompromis ift. sandfodringen kan prisoverslaget for Løsningsforslag 3 reduceres til **2.024.000 kr.**

7.2.4 Prisoverslag for "Løsningsforslag 4"

Løsningsforslag 4 er den billigste løsning, dog uden at gå på kompromis med kystbeskyttelsesfunktionen. Løsningsforslaget består i, at alle hofderne udføres som stenkastninger. Hertil kommer fjernelse af eksisterende hofder, samt en strandudvidelse på 10 m langs hele kyststrækningen ved Østerstrand. Samlede skønnede omkostninger til løsningsforslag 4 er givet i Tabel 19.

Løsningsforslag 4					
Beskrivelse		Mængde	Enhed	Enhedspris [kr]	Pris [kr]
Nye hofder (inkl. fjernelse af eksisterende)	Hofde 1	38	m	4.000	152.800
	Hofde 2	60	m	4.000	240.000
	Hofde 3	52	m	4.000	208.000
	Sanddæmning	150	m	1.000	150.000
	Arbejdsplads 15%	15	%	-	112.500
	Uforudsete 10%	10	%	-	86.250
Sandfodring	Sandfodring - optimal	10	m ³	75	765.782
	Tillægsomkostninger	1	Stk.	100.000	100.000
	Uforudsete 20%	20	%	-	173.156
Sum		1.988.000			

Tabel 19: Omkostninger til "Løsningsforslag 4"

Benyttes det alternative priskompromis ift. sandfodringen kan prisoverslaget for Løsningsforslag 4 reduceres til **1.375.000 kr.**

7.3 Løbende omkostninger

Træpælene i de stenfyldte pælehøfder har en levetid på ca. 30 år, hvorefter de må forventes udskiftet, og trædækket har en skønnet levetid på ca. 20 år (da dette ikke er imprægneret).

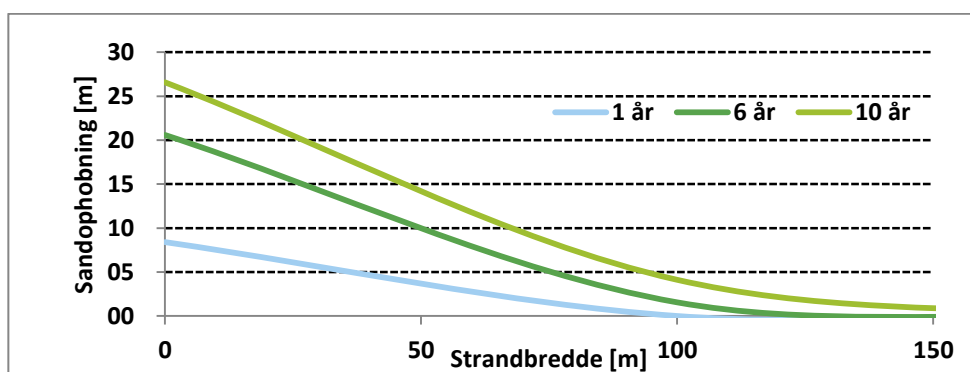
Vedligehold af stenkastningshøfderne begrænser sig til løbende inspektion og eventuelle reparationer efter kraftig storm.

Der skal desuden påregnes løbende udgifter til inspektion og vedligehold af kyststrækningen i form af løbende sandfodring og fjernelse af opskyllede materialer (f.eks. tang). Det vurderes dog, at vedligeholdelseskostningerne hertil være uændrede ift. omkostningerne hidtil.

8. VURDERING AF FREMTIDIG KYSTUDVIKLING

Den fremtidige kystudvikling er skønnet via en simplificeret såkaldt ONELINE-metode, beskrevet i /11/. Metoden tager udgangspunkt i den potentielle langsgående sedimenttransport beregnet i afsnit 5. Det er antaget, at hver høfde realistisk set vil blokere ca. 5-10% af den potentielle langsgående sedimenttransport. Den forholdsvis lille blokerings effekt skyldes de lokale strømme omkring høfderne, som vil stå for en stor del af transporten fra opstrømsiden til nedstrømsiden.

Den skønnede kystudvikling på opstrømsiden af høfde 1 er illustreret i Figur 22. Af figuren fremgår det, at sandophobningen efter ca. 10 år vil medføre en generel udvidelse af stranden i en afstand på op til 150 m opstrøms for høfden. Figuren kan kun anvendes til at sige noget om forholdene opstrøms for høfde 1, da der ikke tages højde for interaktionen mellem høfderne, som vil medføre at sidelæggende høfder vil erodere på nedstrømsiden (som tidligere illustreret i Figur 13).



Figur 22: Skønnet fremtidig sandophobning på opstrømsiden af hver høfde.

9. VIDERE FORLØB I DETAILPROJEKTERINGEN

Nærværende skitseprojekt danner grundlag for valg af høfdeudformningen (længde og indbyrdes afstand) samt giver et overslag på anlægskostningerne for to typer af høfde konstruktioner.

Med baggrund i en konsultation med bygherren omkring nærværende skitseprojekt og de præsenterede løsningsforslag, udarbejdes et detailprojekt for kystsikringsløsningen. Detailprojektet vil indeholde detailberegninger samt tegningsmateriale. Der vil således gennemføres mere detaljerede modelsimuleringer af strøm- og sedimenttransportforhold for et design af høfderne. På baggrund af dette udarbejdes traditionelt udbudsmateriale, som skal danne udgangspunkt for afholdelse af en indbudt licitation.

Parallelt med detailprojekteringen samt udbudsprocessen udarbejdes myndighedsansøgninger således at myndighedsgodkendelserne kan foreligge senest ved opstart af udførelsen.

REFERENCER

- /1/ DHI, 2015, "Vedrørende – Vurdering af muligheder for renovering af kystsikring på Østerstrand", rapport
- /2/ Fredericia Kommune, "Vision Østerstrand"
- /3/ Google Earth
- /4/ Hermansen B og Jensen JB (2000). "Digitalt kort over havbundssedimenterne omkring Danmark 1:500.000." Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2000-68. + CD.
- /5/ Carl Bro, "Fredericia VVM for trailerterminal og lystbådhavn, Appendix 5"
- /6/ DMI, 1999, "Observeret vindhastighed og -retning i Danmark - med klimanormaler 1961-90"
- /7/ Troen, I., & Lundtang Petersen, E. (1989). "European Wind Atlas. Roskilde: Risø National Laboratory."
- /8/ Hurdle, D.P. and Stive, R.J.H., 1989, "Revision of SPM 1984 Wave Hindcast Model to Avoid Inconsistences in Engineering Applications," Coastal Engineering, 12, 339-351.
- /9/ Kystdirektoratet, 2012, Højvandsstatistikker 2012.
- /10/ Komma's Havnelods (2011-13)
- /11/ J. William Kamphuis, 2000, "Introduction to Coastal Engineering and Management", Vol. 16
- /12/ Dean, R. G. (1991). "Equilibrium beach profiles: Characteristics and applications," Journal of Coastal Research 7(I), 53-84.